

# Pengaruh Penambahan Limbah Vulkanisir terhadap Karakteristik Marshall dan Durabilitas Campuran *Split Mastic Asphalt*

Andriani<sup>1a)</sup> dan M. Shubhi Nurul Hadie <sup>1)</sup>

<sup>1</sup> Civil Engineering Departement, Andalas University, West Sumatera, Indonesia, 25163

<sup>a)</sup>Corresponding/ Main Contributor: andriani.stmt@gmail.com

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah vulkanisir pada *Split Mastic Asphalt* (SMA) terhadap karakteristik Marshall dan durabilitas campuran. Kadar aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah kadar aspal optimum yang diperoleh dari pengujian yaitu sebesar 6,95 % dari berat campuran, sedangkan kadar limbah vulkanisir yang digunakan adalah 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5 % terhadap berat campuran. Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui stabilitas, ketahanan dan kelelahan campuran. Pada penelitian ini digunakan 3 (tiga) kondisi perendaman yaitu 0,5 jam ; 1 x 24 jam dan 2x 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah vulkanisir menyebabkan kenaikan pada nilai *Void In The Mix* (VITM) dengan indeks rata-rata 3,52 dan menurunkan nilai *Void Filled With Asphalt* (VFWA) dengan indeks rata-rata 9,28. Kepadatan campuran mengalami penurunan rata-rata sebesar 0,0562 sedangkan nilai flow mengalami peningkatan sebesar 0,09 mm - 0,3 mm. Bertambahnya kadar limbah vulkanisir pada campuran *Split Mastic Asphalt* menyebabkan stabilitas campuran mengalami penurunan sebesar 3,3 % - 11,02 %.

Kata kunci : durabilitas, limbah vulkanisir, marshall, split mastic asphalt

## Abstract

*This study aims to determine the effect of adding rubber tire waste on Split Mastic Asphalt (SMA) toward characteristics of Marshall and durability. The asphalt content used is the optimum asphalt content obtained from the test, which is 6.95% of the weight of the mixture, while the content of waste used is 0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4 and 0.5% by weight of the mixture. Marshall testing is carried out to determine the stability, durability and flow of the mixture. In this study used 3 (three) conditions of soaked namely 0.5 hours; 1 x 24 hours and 2x 24 hours. The results showed that the addition of rubber tire waste caused an increase in the value of Void In The Mix (VITM) with an average index of 3.52 and decreased the value of Void Filled With Asphalt (VFWA) with an average index of 9.28. The density of the mixture has decreased by an average of 0.0562 while the flow value has increased from 0,09 mm - 0.3 mm. Increasing the content of rubber tire in split mastic asphalt mixture causes the stability of the mixture to decrease by 3.3% - 11.02%.*

Keyword : durability, rubber tire waste, marshall, split mastic asphalt

## PENDAHULUAN

Pembangunan jalan terus meningkat di Indonesia, untuk itu diperlukan perkerasan jalan yang aman dan nyaman bagi pengendara. Umumnya lapis perkerasan jalan dibagi menjadi dua yaitu lapis perkerasan lentur dan lapisan perkerasan kaku. Lapis perkerasan lentur terdiri dari lapis struktural dan lapisan non struktural. Lapisan struktural berfungsi sebagai lapisan yang mendukung dan menyebarkan beban kendaraan yang diterima oleh perkerasan, baik beban vertikal atau beban kendaraan maupun beban horizontal atau gaya rem. Persyaratan yang dituntut adalah kuat, kaku, stabil pada saat dilalui kendaraan serta mempunyai daya tahan terhadap penggelinciran yang cukup tinggi [1]. Sedangkan lapis non struktural berfungsi sebagai lapis kedap air yang berguna untuk mencegah masuknya air ke dalam lapis perkerasan di bawahnya, dan sebagai lapis aus sebagai akibat gesekan rem kendaraan yang dapat diganti dengan yang baru (*overlay*) [2].

Tuntutan penyempurnaan kualitas bukan hanya pada jalan yang baru dibangun tetapi juga pemeliharaannya. Pembangunan jalan di Indonesia menghadapi kendala-kendala antara lain : iklim tropis, beban kendaraan yang sulit dikendalikan dan struktur jalan yang relatif kurang mantap. Hal ini menyebabkan kerusakan badan jalan, salah satu penyebab kerusakan jalan adalah kualitas campuran aspal yang tidak memadai, untuk itu perlu dilakukan modifikasi dengan menambahkan bahan tertentu untuk meningkatkan kualitas campuran aspal [3,4]. *Split Mastic Asphalt* merupakan salah satu konstruksi perkerasan jalan dengan menggunakan gradasi terbuka (kandungan agregat kasar  $\pm 70$  % dan filler  $\pm 11$  %), aspal dan bahan tambah/*additive* [5,6]. *Split Mastic Asphalt* mempunyai ketahanan terhadap deformasi, mempunyai *skin resistance* tinggi karena kadar agregat kasarnya besar dan mempunyai kecenderungan lebih tahan lama, karena kadar aspalnya tinggi dan distabilisasi dengan serat selulosa, sehingga dapat mempunyai durabilitas yang lebih baik [7,8]. Gradasi terbuka pada *Split Mastic Asphalt* menyebabkan kadar aspal yang dibutuhkan menjadi lebih tinggi dan untuk meningkatkan kualitas aspal dibutuhkan bahan tambah [9].

Salah satu bahan tambah yang digunakan adalah limbah vulkanisir. Jumlah limbah ban kendaraan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah kendaraan. Apabila limbah vulkanisir tidak ditangani secara serius akan menimbulkan masalah lingkungan [10,11]. Penggunaan berbagai jenis limbah industri seperti limbah ban bekas memungkinkan untuk digunakan sebagai campuran beton aspal karena dapat meningkatkan stabilitas dan durabilitas campuran [12]. Limbah vulkanisir dapat digunakan sebagai salah satu bahan tambah pada aspal karena memiliki kedekatan sifat dengan karet (aspal karet), karena memiliki kandungan : karbon (32,19%), silika (1,64 %), sulfur (2,13 %) dan karet (64,04 %). Dari hasil tersebut terlihat bahwa limbah vulkanisir sebagian besar terdiri karet dan karbon [13]. Penambahan limbah karet ban luar terhadap karakteristik Marshall pada lapis tipis aspal pasir (latasir) kelas B dapat meningkatkan nilai stabilitas dan durabilitas campuran [14]. Penambahan limbah vulkanisir pada aspal penetrasi 80/100 dapat meningkatkan kualitas aspal menyebabkan nilai daktilitas semakin kecil, nilai titik lembek semakin besar dan angka penetrasinya semakin kecil [15]. Karakteristik lapis perkerasan sangat ditentukan oleh sifat bahannya yang digunakan agar diperoleh lapis perkerasan yang kuat, awet, aman, dan nyaman untuk melayani lalu lintas.

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas dan durabilitas campuran. Durabilitas yang baik dapat diperoleh dengan memberikan kadar aspal yang tinggi, gradasi batuan yang baik pada campuran perkerasan. Selain itu juga perlu ditinjau fleksibilitas dan ketahanan terhadap kelelahan, lapis aspal beton dalam menerima beban berulang secara terus menerus yang menyebabkan terjadinya alur/*tilting* dan retak/*cracking* [16]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh penambahan limbah vulkanisir terhadap nilai stabilitas dan durabilitas campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA). Sedangkan manfaat penelitian adalah untuk mengurangi limbah vulkanisir dan mencari alternatif bahan tambah pengganti selulosa pada *Split Mastic Asphalt* sehingga limbah vulkanisir dapat dimanfaatkan secara optimal.

## BAHAN DAN METODA

### Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari agregat kasar dan halus, aspal AC 60/70, filler berupa semen portland dan bahan tambah yang digunakan berupa parutan ban bekas (limbah vulkanisir yang lolos saringan no 50 dan tertahan no. 200). Sedangkan Peralatan yang digunakan antara lain alat *Marshall Test*, cetakan benda uji dengan diameter 4 inchi dan tinggi 3 inchi lengkap dengan plat atas dan leher sambung, *ejector*, *oven*, penumbuk elektrik, bak perendam dan perlengkapan lainnya (panci, kompor pemanas, termometer kapasitas 420°C, sendok pengaduk, spatula dan timbangan). Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Jurusan Teknik Sipil Fak. Teknik Universitas Gadjah Mada.

### Metoda Penelitian

#### Persiapan Bahan

Bahan – bahan yang harus dipersiapkan terdiri dari agregat dan aspal. Adapun jenis persiapan bahan yang dilakukan meliputi :

1. Pegujian agregat kasar dan halus meliputi : uji keausan agregat dengan mesin Los Angeles, kelekatan terhadap aspal, penyerapan air, berat jenis dan *sand equivalent*.
2. Pengujian aspal meliputi : uji penetrasi aspal pada suhu 25 °C, uji titik lembek, pemeriksaan kehilangan berat, kelarutan dalam CCl<sub>4</sub>, uji daktalitas, uji penetrasi setelah kehilangan berat.
3. Pemeriksaan pengaruh limbah vulkanisir (parutan ban bekas) terhadap ikatan aspal meliputi : uji penetrasi kadar limbah vulkanisir sebesar 0 – 0,5 % terhadap berat total campuran dan uji titik lembek campuran aspal dengan limbah vulkanisir dengan kadar 0 – 0,5 % terhadap berat total campuran.

#### Pengujian

Penelitian ini terdiri dari dua pengujian yaitu pengujian pendahuluan dan pengujian utama. Standar pengujian yang dilakukan mengacu pada [17]. Uji pendahuluan dilakukan untuk mendapatkan kadar aspal optimum yang akan digunakan pada benda uji utama. Kadar aspal yang digunakan pada uji pendahuluan adalah 6 %; 6,5 %; 7 % ; 7,5 % dan 8 % terhadap berat total campuran. Dari hasil penelitian pendahuluan diperoleh bahwa kadar aspal optimum yang akan digunakan adalah 6,95 %. Pengujian utama berupa *Marshall Test* dilakukan pada benda uji dengan kadar aspal optimum 6,95 % ditambah dengan kadar limbah vulkanisir sebesar 0 %; 0,1 % ; 0,2; % ; 0,3 % ; 0,4 dan 0,5 % terhadap berat total campuran. Lamanya perendaman yang dilakukan pada Marshall Test adalah 0,5 jam; 1 x 24 jam dan 2 x 24 jam. Jumlah sampel yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Variasi Kadar Limbah Vulkanisir dan Lama Perendaman.

Limbah Vulkanisir (%)	Lama Perendaman (jam)		
	0,5	1 x 24	2 x 24
0	3 sampel	3 sampel	3 sampel
0,1	3 sampel	3 sampel	3 sampel
0,2	3 sampel	3 sampel	3 sampel
0,3	3 sampel	3 sampel	3 sampel
0,4	3 sampel	3 sampel	3 sampel
0,5	3 sampel	3 sampel	3 sampel

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Pengaruh Penambahan Limbah Vulkanisir terhadap nilai *Void In The Mix* (VITM) dan *Void Filled With Asphalt* (VFWA)

Penambahan limbah vulkanisir pada campuran aspal menyebabkan nilai titik lembek menjadi tinggi sedangkan nilai penetrasi menjadi semakin kecil, hal ini menunjukkan bahwa aspal mempunyai kepekaan terhadap temperatur tinggi. Ukuran partikel akan mempengaruhi nilai penetrasi dan titik lembek aspal, semakin kecil ukuran partikel maka nilai penetrasi aspal semakin tinggi sedangkan titik lembek menjadi rendah demikian pula sebaliknya, selain itu juga proses pencampuran limbah vulkanisir dengan aspal menyebabkan temperatur naik sehingga dengan bertambahnya limbah vulkanisir maka nilai penetrasi semakin turun sedangkan nilai titik lembek meningkat [18].

Tabel 2. menunjukkan hasil pemeriksaan titik lembek Aspal AC 60/70.

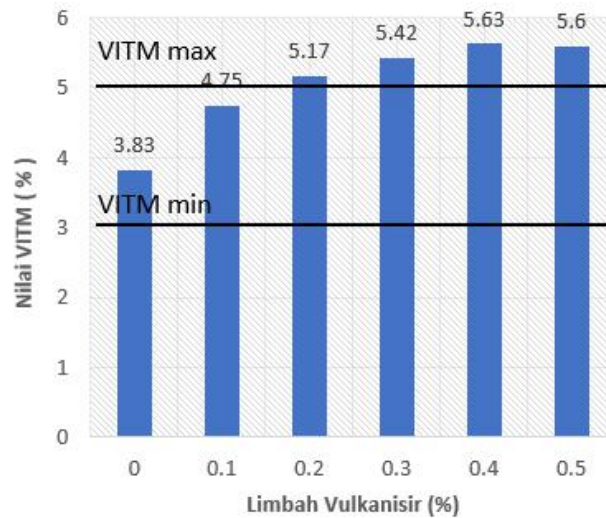
Tabel 2. Pengaruh Penambahan Limbah Vulkanisir terhadap Nilai Titik Lembek.

No.	Jenis Pemeriksaan	Limbah Vulkanisir (%)					
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1.	Penetrasi (25 °C, 5 detik)	69,60	67,45	65,25	63,60	61,15	61,50
2.	Titik Lembek (Ring and Ball)	47,25	48,25	48,50	48,75	48,75	48,75

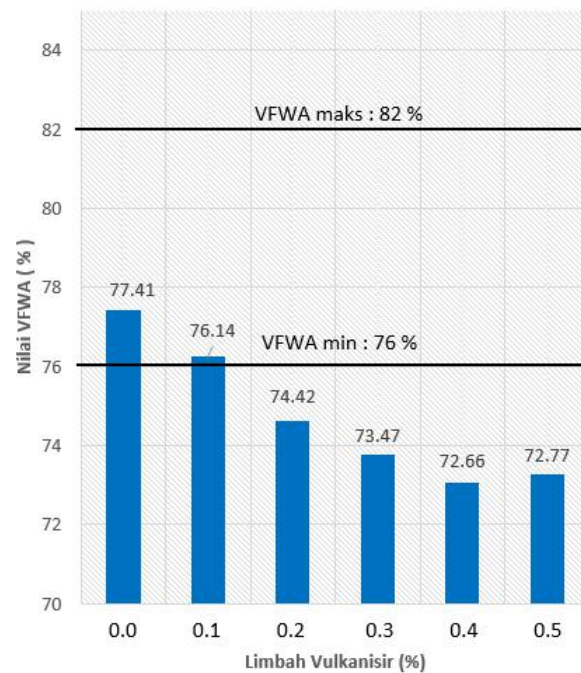
Kemampuan Nilai *Void In The Mix* (VITM) dan *Void Filled With Asphalt* (VFWA) mempunyai hubungan yang erat dengan tingkat kepadatan (*density*) sampel. Semakin banyak rongga di dalam sampel akan menyebabkan kepadatan sampel semakin rendah sehingga sampel kurang kedap terhadap air dan udara. Hal ini akan menyebabkan aspal mudah teroksidasi sehingga menyebabkan kerusakan pada konstruksi jalan [19,20]. Nilai VITM yang disyaratkan oleh Bina Marga adalah minimum 3 % dan maksimum 5 % sedangkan nilai VFWA adalah 76 % sampai 82 % [21].

Gambar 1 menunjukkan bahwa seiring penambahan limbah vulkanisir menyebabkan nilai VITM semakin meningkat sedangkan nilai VFWA mengalami penurunan. Hal ini akan menyebabkan rongga pada sampel campuran semakin besar. Besarnya rongga pada campuran disebabkan karena *Split Mastic Asphalt* menggunakan gradasi terbuka dengan ukuran agregat yang besar sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menyelimuti agregat semakin lama [22]. Penambahan limbah vulkanisir menyebabkan *viscositas*/kekentalan aspal semakin meningkat sehingga sulit mengisi rongga antar butiran karena proses pengaliran yang lambat. Banyaknya rongga pada sampel campuran

dan sedikitnya aspal yang menyelimuti agregat akan menyebabkan ikatan antar butiran agregat menjadi lemah, tambahan zat aditif pada campuran diharapkan dapat mencegah hal tersebut [23].



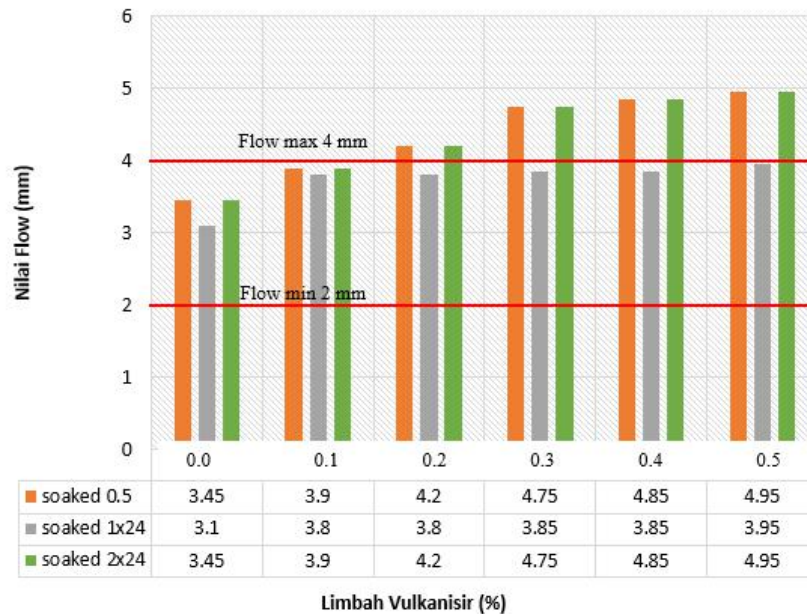
**Gambar 1.** Pengaruh Penambahan Limbah Vulkanisir terhadap Nilai VITM.



**Gambar 2.** Pengaruh Penambahan Limbah Vulkanisir terhadap Nilai VFWA.

## 2. Pengaruh Penambahan Limbah Vulkanisir terhadap kelelehan (*flow*)

Nilai kelelehan (*flow*) menunjukkan besarnya deformasi sampel akibat beban lalu lintas yang bekerja pada perkerasan. Nilai kelelehan (*flow*) dipengaruhi oleh : gradasi agregat, viskositas dan kadar aspal dalam campuran. Bina Marga memberikan standar nilai kelelehan (*flow*) adalah 2 – 4 mm.



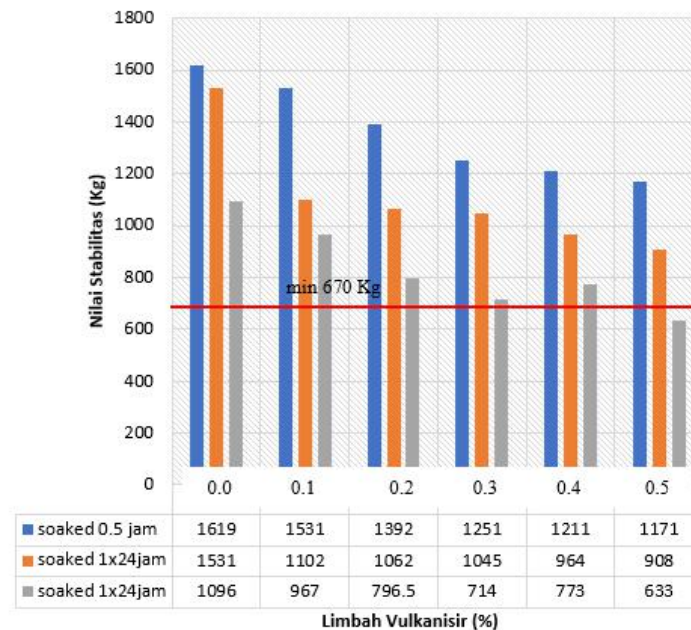
**Gambar 3.** Pengaruh Penambahan Limbah Vulkanisir terhadap Nilai *Flow*.

Gambar 3 menunjukkan bahwa penambahan limbah vulkanisir pada benda uji meningkatkan nilai kelelehan (*flow*) pada benda uji yang direndam 0,5 jam ; 1 x 24 jam dan 2 x 24 jam. Meningkatnya nilai kelelehan (*flow*) disebabkan oleh nilai *viscositas* yang tinggi sehingga penyelimutan agregat oleh aspal tidak merata dan menyebabkan jumlah rongga yang terbentuk semakin banyak. Hal ini menyebabkan kepadatan menjadi rendah sehingga akan mudah mengalami deformasi/ penurunan [24, 25].

## 3. Pengaruh Penambahan Limbah Vulkanisir terhadap Stabilitas Campuran

Stabilitas campuran merupakan kemampuan untuk menahan deformasi akibat adanya beban. Nilai stabilitas campuran dipengaruhi oleh *internal friction*, *interlocking* dan kohesi. Kekuatan kohesi akan bertambah seiring dengan jumlah aspal yang menyelimuti agregat tetapi apabila telah mencapai nilai optimum maka penambahan kadar aspal akan menyebabkan nilai stabilitas campuran menjadi turun. Nilai stabilitas yang disyaratkan Bina Marga adalah 670 Kg. Gambar 4 menunjukkan hasil nilai stabilitas dari pengujian Marshall. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa nilai stabilitas campuran mengalami penurunan akibat penambahan limbah vulkanisir dalam campuran. Penurunan stabilitas campuran terjadi pada perendaman 0,5 jam; 1x24 jam dan 2x24 jam. Hal ini disebabkan oleh penyelimutan campuran aspal dan limbah vulkanisir menyebabkan gaya kohesi tidak bertambah malah mengurangi sifat saling kunci dan gaya gesekan antar batuan, sehingga selama proses perendaman maka air akan masuk ke pori-pori sampel selanjutnya akan mengganggu sifat adhesi dan kohesi aspal. Semakin lama proses perendaman

menyebabkan nilai stabilitas campuran semakin rendah karena semakin banyak air yang masuk ke dalam pori-pori sampel sehingga mengganggu proses ikatan antar butiran campuran [26].

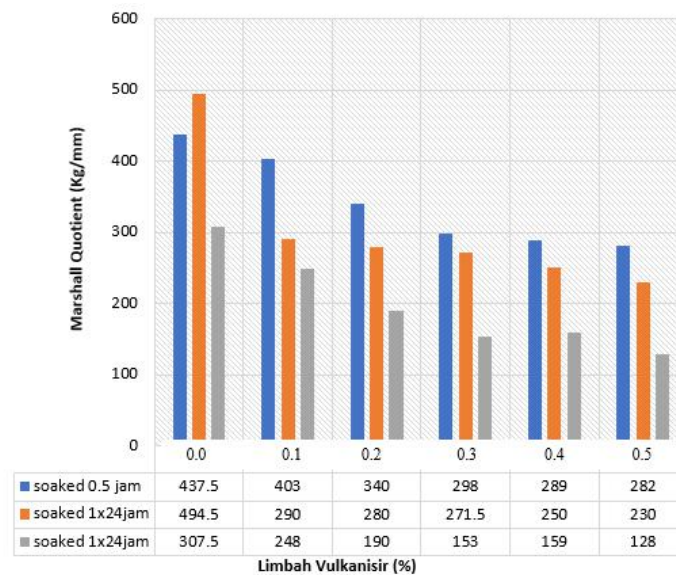


**Gambar 4.** Pengaruh Penambahan Limbah Vulkanisir terhadap Nilai Stabilitas Campuran.

#### 4. Pengaruh Penambahan Limbah Vulkanisir terhadap nilai Marshall Quotient dan Durabilitas Campuran

*Marshall Quotient* menunjukkan fleksibilitas campuran, nilai *Marshall Quotient* yang tinggi menunjukkan sampel semakin kaku. Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa penambahan limbah vulkanisir menyebabkan nilai *Marshall Quotient* mengalami penurunan pada sampel dengan berbagai variasi perendaman pada suhu 60 ° C. Turunnya nilai *Marshall Quotient* pada campuran disebabkan meningkatnya nilai kelelehan/ *flow* dan turunnya nilai stabilitas campuran.





**Gambar 5.** Pengaruh Penambahan Limbah Vulkanisir terhadap Nilai Marshall Quotient.

Faktor yang mempengaruhi nilai *Marshall Quotient* adalah suhu pemadatan, gradasi, kohesi, rongga dalam campuran, bahan pengikat aspal dan agregat (gradasi, bentuk dan kekasaran permukaan). Semakin lama proses perendaman maka nilai *Marshall Quotient* semakin turun, hal ini disebabkan semakin berkurangnya sifat saling mengunci antar butiran [27].

Turunnya nilai stabilitas campuran akan menyebabkan indeks durabilitas mengalami penurunan juga. Durabilitas adalah kemampuan lapis perkerasan untuk menahan gaya lalu lintas dan cuaca sesuai dengan umur rencana tanpa menimbulkan desintegrasi dan dekomposisi. Faktor yang mempengaruhi durabilitas adalah selimut aspal, VITM dan VFWA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah vulkanisir menyebabkan nilai stabilitas mengalami penurunan, penurunan nilai stabilitas terbesar terjadi pada penambahan limbah vulkanisir 0,5 % sehingga menyebabkan nilai durabilitas akan mengalami penurunan [28].

## KESIMPULAN

Penambahan limbah vulkanisir pada campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) menyebabkan nilai *Void In The Mix* (VITM) semakin meningkat sedangkan nilai *Void Filled With Asphalt* (VFWA) mengalami penurunan. Hal ini menyebabkan proses penyelimutan aspal terhadap agregat tidak merata sehingga rongga yang terbentuk lebih banyak. Banyaknya rongga pada campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) menyebabkan turunnya nilai stabilitas, meningkatnya nilai kelelahan/ *flow* dan turunnya sifat durabilitas campuran.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Sukirman, S., *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung, 1999.
2. Hardiyatmo, H.C., *Pemeliharaan Jalan Raya*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 2007.
3. Roberts, F.L., Kandhal, P. S., Brown, E. R., Lee, D. Y., Kennedy, T. W., *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction*, Maryland: NAPA Education Foundation, 1991.



4. Tahir, A., *Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) dengan menggunakan Serat Sellulosa Alami Dedak Padi*, Jurnal Rekayasa dan Manajemen Transportasi, 2011. **1**(1): p. 27-41.
5. Collins, R., *Split Mastic Asphalt – The Georgia Experience*, AAPA Industry Conference, 1996.
6. Wonson, K., *Split Mastic Asphalt The European Experience*, AAPA Pavement Industry Conference, 1996.
7. Aloysius, G.L., Ludfi, D., Y, Zaika, *Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt Dengan Beberapa Material Dari Kalimantan*. JURNAL REKAYASA SIPIL, 2010. 4(3): p.175-184.
8. Widiyanto, A.H., *Analisis Pengaruh Gradasi pada Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) yang Menggunakan Aditif ASBUTON Murni untuk Perkerasan Bandara*, Tesis Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-Institut Teknologi Bandung, 2012.
9. Sunarjono, S, 2007. *Tensile Strength And Stiffness Modulus Of Foamed Asphalt Applied To A Grading Representative Of Indonesian Road Recycled Pavement Materials*, Dinamika Teknik Sipil , 2007. **7** (1).
10. Yamali, F.R., *Pengaruh Penambahan Limbah Karet Ban Luar Pada Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) Terhadap Karakteristik Marshall*, Jurnal Civronlit Universitas Batanghari, 2017. **2**(2).
11. Haryadi, H., Pratama, Y., Sigit, Fadhilah, L., Maryunani, W.P. and Sudarno, *Pengaruh Ukuran Crumb Rubber Mesh # 80 dan # 120 (Serbuk limbah Ban Karet) pada Penambahan Campuran Laston untuk Perkerasan Jalan*, Reviews in Civil Engineering, 2018 02 (2) : p.82-85.
12. Mashuri and Batti, F., *Pemanfaatan Material Limbah pada Campuran Beton Campuran Panas*, MEKTEK, 2011 **XIII**(3).
13. Anonim, 1983. *Asphalt Technology and Construction Practise*(ES-1), The Asphalt Institute, Maryland, USA.
14. Andika, B.T., *Pengaruh Penambahan 'Limbah Karet Ban Luar Terhadap Karakteristik Marshall Pada Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) Kelas B*. Media Teknik Sipil, 2011. **9** (2).
15. Sulfah, A., F.W. Hanggara, *Pengaruh Penambahan Karet Ban Bekas Terhadap Karakteristik Aspal Penetrasi 80/100*, Seminar Nasional Teknologi Terapan VI, 2018.
16. Milind V. M. and Dr. K.N. Kadam., *Comparative Study on Rigid and Flexible Pavement: A Review*. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), 2016. **13** (3) : p 84-88.
17. Standar Nasional Indonesia, SNI, *Metoda Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall*, RSNI M-01-2003, Badan Standar Nasional Indonesia.
18. Muniandy, R., Aburkaba, E.,and Taha R., *Effect of Mineral Filler Type and Particle Size on Asphalt-Filler Mastic and Stone Mastic Asphalt Laboratory Measured Properties*, Jurnal Department of Civil Engineering, 2012.
19. Khairani, C., Saleh, S.M. and Sugiarto, *Uji Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (Ac-Bc) Dengan Tambahan Parutan Ban Bekas*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala **1** (3), 2018: pp. 559 – 570.
20. Sutliff, K. and Takigawa, S., *Crumb Rubber Usage in Hot Mix Asphalt (HMA) Pavements*, Memorandum, California Department of Transportation, February 10, 2015.
21. Anonim, Departemen Pekerjaan Umum – Direktorat Jendral Bina Marga, Spesifikasi. Jakarta. 1998.
22. Djakfar, B.L., Zaika, Y.and Lake, A.G., *Evaluation of Split Mastic Asphalt Mixture Using Materials from Borneo*, International Journal of Engineering & Technology IJET, 2011. **11**(3) : p. 106-113.
23. Mahmoud Nazirizad, A.Kavussi and A. Abdi, *Evaluation of the effects of anti-stripping agents on the performance of asphalt mixtures*, Construction and Building Materials , 2015. 84: p. 348–353.
24. Haider Habeeb, S. Chandra, and Y. Nashaat, *Estimation of Moisture Damage and Permanent Deformation in Asphalt Mixture from Aggregate Gradation*. Journal of Civil Engineering, 2014. **18**(6): p. 1655-1663
25. Ahmed Ebrahim and A.E.M Behiry, *Laboratory evaluation of resistance to moisture damage in asphalt mixtures*. Ain Shams Engineering Journal, 2013. **4**: p. 351–363.
26. Jiusu Li, W. Zhang, W. Jia, L.F. Walubita and G. Liu, *Quantitative evaluation and enhancement of adhesion between bitumen and aggregates*. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 2014. **6**(6): p.1737-1742.
27. Setyarini, N.L.S.E., Tajuddin, A.N. and Janadi, *Pengaruh Lama Perendaman Terhadap Karakteristik Lapisan Aus Laston dengan menggunakan Agregat Terselimut Limbah Plastik LDPE*, Konferensi Nasional Teknik Sipil 12, 2018. Batam.
28. Yazan, I., *Effect of Adding Waste Tires Rubber to Asphalt Mix*. International Journal of Scientific Research and Innovative Technology, 2016. **3**(5): p. 61-68.